

S1-1-5. 炭素繊維・炭化珪素複合材ディスクのブレーキ性能

仲野 政志、[機] 〇宮内 瞳苗、小原 孝則、[機] 南京 政信、半田 和行

(鉄道総合技術研究所)

Brake Performance of Carbon Fiber/Silicon Carbide Composite Discs
Masashi Nakano, Toru Miyauchi, Takanori Obara, Masanobu Nankyo, Kazuyuki Handa
(Railway Technical Research Institute)

New brake discs which have better material characteristics are required to enable further speed-up in Shinkansen. Carbon fiber/ silicon carbide composites (C/SiC) have good material characteristics of low density and high heat resistance. Brake discs made of C/SiC have been adopted in sports cars and developed in high speed trains of Europe. Full-scale C/SiC discs were made and then tested in full-scale dynamometer to adopt the discs in Shinkansen. The friction coefficients were high compared with those of forged steel discs which have been used in Shinkansen. Maximum temperatures of the discs were approximately 400 °C in emergency-braking conditions from 300 km/h and the deformation of the discs due to braking tests were extremely small. It is expected that C/SiC discs will be adopted in Shinkansen because of the excellent braking performance and the material characteristics.

キーワード：新幹線、C/SiC ディスク、ブレーキ性能、摩擦係数、温度、変形

Keywords: Shinkansen, C/SiC disc, Brake performance, friction, temperature, deformation

1. はじめに

新幹線では、高速から減速する際、まず回生ブレーキが使用され、約 30km/h になると、ディスクブレーキが使用される。しかし、回生ブレーキが失効した時には、高速からディスクブレーキが使用されるため、ディスクブレーキは、最高速度から停止までの負荷に耐えられる設計となっている。今後、新幹線がさらに高速化された場合においても、同様な性能が確保されなければならない。

現在、新幹線には鍛鋼製ブレーキディスクが使用されているが、今後の高速化に向けて、鍛鋼ディスクより耐熱性、耐熱き裂性に優れた軽量ディスクが望まれている。そこで、ヨーロッパの高速鉄道においても実用化が検討されている炭素繊維・炭化珪素複合材（以後、C/SiC と呼ぶ）に着目した。C/SiC は、軽量で耐熱性に優れており、現在はスポーツカーのブレーキディスクとして実用化されている。

本研究では、新幹線向けに実物大 C/SiC ディスクを試作して、ブレーキ試験を行い、その性能を確認した。

2. 試験方法

本研究で使った C/SiC ブレーキディスクは、車輪側面に 2 枚、12 本のボルトで取り付ける側ディスクである。形状は、直径 720mm であり、鍛鋼ディスクのようなフィンはない。1 枚の重量は、約 31kg で、鍛鋼ディスクの半分以下である。ライニングは、銅系焼結材であり、C/SiC ディスク用に開発されたものである。

C/SiC ディスクでは平均摩擦係数 f が不明なため、鍛鋼デ

ィスクの平均摩擦係数相当の 0.24 とし、300 系の減速度パターンから、式(1)を用いて押付力を算出し（図 1）、予備試験を行った（表 1）。その結果を踏まえて、 f を 0.65 とし、押付力を算出し（図 1）、本試験を行った（表 1）。なお、慣性モーメントは 1242.5kgm² とした。この時の押付力と減速度の関係は(1)式で表される。

$$F = W_e \cdot R_w / R_d / 2 / f \cdot \beta / 3.6 \quad (1)$$

ここで、 F ：押付力、 W_e ：等価車輪質量、 R_w ：車輪径、 R_d ：ディスク有効半径（300.3mm）、 β ：減速度

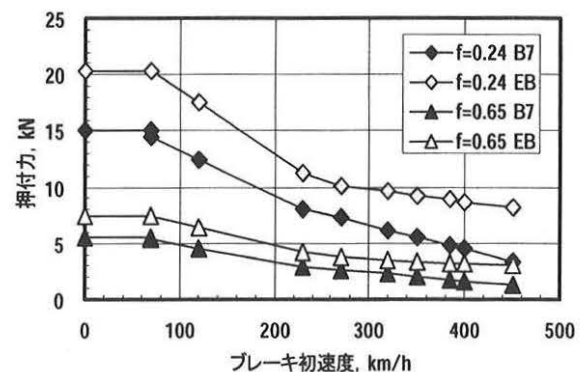


図 1 押付力パターン

試験では、平均摩擦係数の他、ディスクの温度および変形量を測定した。ディスクの温度測定点は、反フランジ側、フランジ側のディスクそれぞれ 180° 対称に 2 点とし、摩擦面の中心では表面から 6mm の位置とした。

平成 16 年 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL'04)

ディスクの変形量の測定では、車輪リム部側面とディスク外周端との段差を測定した。1枚のディスクで90°毎に4カ所測定した。

表 1 試験条件

ブレーキ初速度 km/h	f=0.24 予備試験		f=0.65 本試験	
	B7	EB	B7	EB
30	10回	30回	30回	30回
70	10回	10回	10回	10回
120	10回	5回	10回	10回
170	8回	5回	5回	5回
230	3回	-	3回	3回
270	-	-	3回	3回
300	-	-	3回	3回

4. 試験結果

平均摩擦係数の結果を図3に示す。予備試験 f=0.24 において、平均摩擦係数は0.4以上を示したため、f=0.65 とし、本試験を行った。f=0.65 におけるブレーキ初速度 30、70km/h では、平均摩擦係数が約 0.7 と非常に高い値を示した。ブレーキ初速度 120km/h 以上でも 0.4 以上を示した。

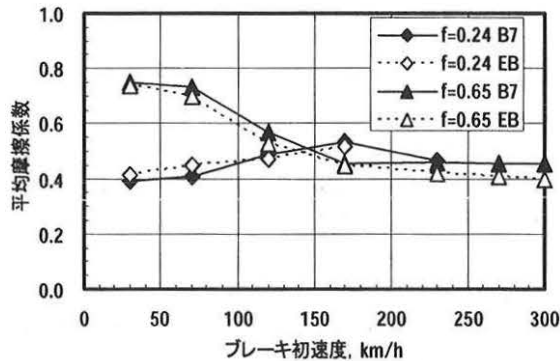


図 2 平均摩擦係数の結果

ディスク最高温度を図4に示す。フランジ側と反フランジ側とは、反フランジ側の方が、高い傾向を示した。ブレーキ初速度 300km/h の EB においてもディスクの最高温度は約 400℃であった。

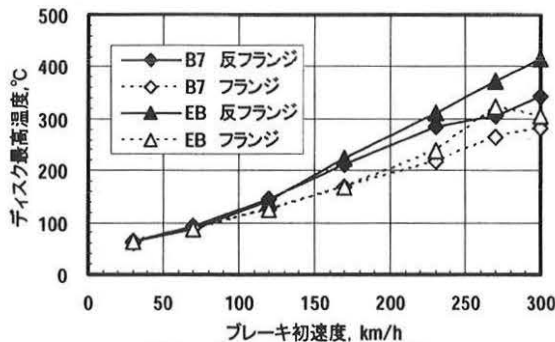


図 3 ディスク最高温度の結果

車輪リム部側面とディスク外周端との段差を図5に示す。現在使用されているディスクでは、同様の試験を行うと

徐々に外周部が車輪リム面より高くなる。しかし、本ディスクでは、ほとんど車輪リム部側面とディスク外周端との段差は変化しなかった。試験後のディスク面、ライニング面ともに良好であった。

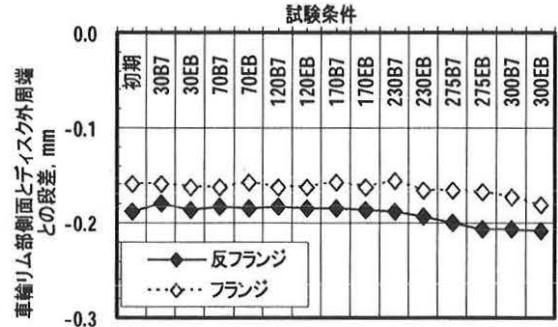


図 4 車輪リム部側面とディスク外周部との段差

5. 考察

鍛鋼と C/SiC ディスクの物理特性を表2に示す。本試験結果では、ディスク最高温度は約 400℃であるが、C/SiC ディスクの耐熱温度は鍛鋼よりも高いため、ブレーキ初速度 300km/h からの非常ブレーキでも余裕があると考えられる。C/SiC ディスクの変形が非常に小さいのは、線膨張係数が鍛鋼と比較して非常に小さいためと考えられる。鍛鋼ディスクは、摩擦表面に熱き裂が発生・進展して、一定の長さ到達すると交換される。熱き裂の発生・進展のメカニズムは、ブレーキの繰返による急激な入熱と冷却による引張残留応力の蓄積であることが知られている。変形が小さいことは、内部残留応力が小さいことを意味し、C/SiC ディスクは、耐熱き裂に対して強いと考えられる。C/SiC ディスクは、鍛鋼ディスクと比較して、密度が低く、バネ下重量の削減にもつながる。本試験より、C/SiC ディスクは、鉄道用の実物大においても、使用可能であることが確認できた。

表 2 鍛鋼と C/SiC ディスクの物理特性

	鍛鋼	C/SiC	測定温度
密度, kg・m ⁻³	7800	2400	20℃
引張強さ, MPa	937	20-30	20℃
ポアソン比	0.3	0.1	20℃
ヤング率, GPa	204.4	20-30	20℃
線膨張係数, 10 ⁻⁶ ・K ⁻¹	12	1.8	0-300℃
熱伝導率, W・m ⁻¹ ・K ⁻¹	45.8	40	20℃
比熱, J・kg ⁻¹ ・K ⁻¹	532	600-800	20℃
耐熱温度, °C	700	1350	

6. まとめ

本試験より、C/SiC ディスクは、鉄道用の実物大においても使用可能であり、しかもブレーキ初速度 300km/h からの非常ブレーキにも十分耐えることがわかった。

鍛鋼ディスクより密度が低く、耐熱温度が高く、耐熱き裂性も高いため、今後の新幹線の高速化に向けて、実用化が期待できる。